

Е. Е. Бизянов¹, А. А. Гутник¹

¹*Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, ЛНР*

МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Аннотация. В работе проведен анализ известных методов и моделей представления нечетких чисел в базах данных информационных систем. Рассмотрены и проанализированы известные методы построения функций принадлежности. Для определения ядра нечеткого числа предлагается использовать данные, полученные из внешних источников, а для носителя — теоретические сведения об объекте. Предложено при помощи отношения ядра к носителю нечеткого множества определять внешний вид функции принадлежности. Значения критерия могут быть изменены при необходимости учета множества реальных данных, или исходя из требований упрощения процедуры автоматизированной обработки. Предложено хранить нечеткие числа с типовыми функциями принадлежности в виде строки, содержащей значения для точек перелома, а нечеткие числа с произвольной функцией принадлежности — в виде строки, содержащей коэффициенты функции аппроксимации. Предложенный метод может найти применение в системах поддержки принятия решений и в автоматизированных системах управления технологическими процессами.

Ключевые слова: база данных, информационная система, данные, нечеткое множество, носитель, ядро, функция принадлежности.

Y. Y. Bizyanov¹, A. A. Hutnik¹

¹*Donbass State Technical Institute, Alchevsk, LPR*

THE METHOD FOR OBTAINING AND STORAGING MEMBERSHIP'S PARAMETERS OF FUZZY SETS

Abstract. Existing methods and models for representation of fuzzy numbers in databases of information systems are analyzed. Existing methods for constructing membership functions are reviewed and analyzed. To determine the core of a fuzzy number is proposed to use the data obtained from the investigated object, and for support — theoretical information about the object. The form of the membership function determinate by the ratio of the core to the support of fuzzy set. The criterion values may be revised if necessary, taking into account the values included in the set of real measured data, or based on the requirement to simplify the automated handling procedures. The fuzzy numbers with typical membership are proposed to store in a string that containing values for breaking points. Fuzzy numbers with an arbitrary membership function are proposed to store in a string that containing the coefficients of the approximation function. The developed method can find application in decision support systems and in automated technological process control systems.

Keywords: database, information system, data, fuzzy set, support, core, membership function.

Введение. Человек чаще всего оперирует лингвистическими понятиями, в то время как системы автоматизированной обработки информации работают с данными, представленными в цифровой форме. Поэтому наличие человека, как промежуточного звена, в процессе обработки данных вносит субъективность в данный процесс, что может увеличить неопределенность [1], и, как следствие, привести к неверным результатам. Известны следующие виды неопределенностей информации, которые можно анализировать с использованием теории нечетких множеств: статистическая, субъективная, экспертные оценки, предпочтения, лингвистическая, конфликтующая, недостаточность информации [1].

Неточность или недостаточность данных, приблизительный характер рассуждений людей при принятии решений, неподтвержденная достоверность поступающей информации — все это приводит к наличию неопределенности во входных данных [2], что вызывает необходимость использовать нечеткую логику и математику в различных областях человеческой деятельности: в технике, медицине, экономике, биологии и пр.

При обработке информации в условиях неопределенности с использованием теории нечетких множеств существует проблема получения их функций принадлежности (ФП) и хранения ее параметров.

Основные проблемы и решения. Довольно часто функции принадлежности нечеткого множества должны быть синтезированы в отрыве от предметной области, что приводит к проблемам в проверке адекватности таких ФП реально существующей задаче. Выбор ФП осуществляется в зависимости от объемов и достоверности имеющейся информации. При малом объеме входной информации используют простые ФП [3, 4], которые не требуют большого количества параметров: колоколообразную, трапециевидную, треугольную и гауссову, представленные на рис. 1, а-г соответственно.

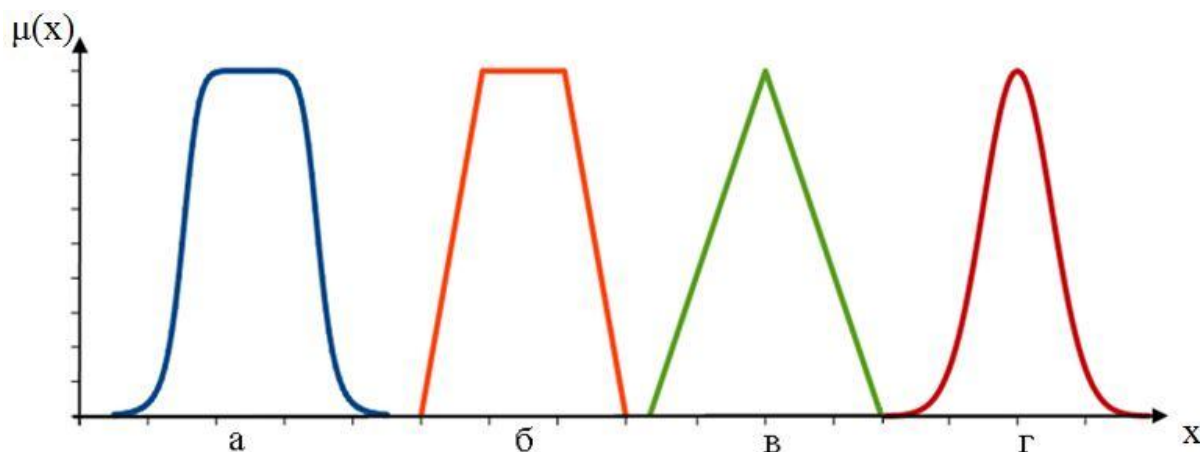


Рис. 1. Внешний вид функций принадлежности

Наиболее распространенными методами получения функции принадлежности нечеткого множества являются экспертные оценки [7]. Так, в [3] приведен обзор более 10 методов получения ФП, в [5] – четыре метода получения ФП на основе экспертных оценок, а в [6] предложено совмещать экспертные оценки с теорией вероятности. Ограничением методов, использующих экспертные оценки, является их субъективность, заключающаяся в проявлении экспертами тенденции сдвигать оценки объектов в направлении концов оценочной шкалы [3]. При этом возникают догмы согласованности и одномерности, приводящие к необходимости отсеивания экспертов, использования подхода «квалиметрии» [7], а также «размытость» в постановке задачи.

Но кроме вопроса выбора ФП для нечетких чисел и определения ее параметров в каждом конкретном случае, сложности также возникают в выборе способа хранения нечетких данных.

На сегодняшний день для работы непосредственно с нечеткими числами и лингвистическими переменными нет адекватных свободных или коммерческих программных решений в сфере систем управления базами данных. Именно из-за этого по сей день продолжают исследования в области формирования и разработки собственных методов и моделей хранения и обработки нечетких данных [2, 8-16]. При этом используются различные подходы: от разработки собственных до использования традиционных моделей данных (реляционных, иерархических, объектных).

При реализации собственной модели исследователи чаще всего сосредотачиваются на следующем: удобство использования модели данных при программировании доступа к базе данных, возможность реализации модели данных в существующих СУБД, время доступа к базе данных, а также объемы хранимых данных [10-16].

Исследования, посвященные проблеме хранения нечетких данных, можно условно разделить на две группы: работы, направленные на практическую реализацию хранения нечет-

ких множеств с использованием существующих моделей данных [2, 10-16] и работы, посвященные разработке новых моделей данных [8-9].

В [8] проведен обзор существующих нечетких логических моделей, в котором известные модели разделены на две категории: модели возможности (к которым отнесены модели Prade-Testemale, Umano-Fukami, Zemankova-Kaendel и GEFRED), которые основаны на разделении нечетких данных на несколько видов (четкие интервалы, четкие данные, лингвистические множества, нечеткие множества) и модели подобия (к которым отнесена модель Buckles-Petry), представляющие нечеткое отношение как декартово произведение нечетких подмножеств.

В [9] предлагается хранить нечеткие данные в реляционной базе данных при помощи модели FIRST-2, которая является дополненной и расширенной версией модели FIRST. В такой базе данных предлагается хранить следующие элементы нечеткой логики: атрибуты для нечеткой обработки (предлагается использовать 8 различных типов атрибутов); информация о каждом атрибуте, основанная на его типе (информация различна для каждого из типов); другие объекты или информация (нечеткие классификаторы, нечеткие квантификаторы и др).

В [2] принят табличный способ задания функции принадлежности. Количество пар $\mu(x_i)/x_i$ неограниченно, при этом предполагается, что множество таких пар задает ломаную линию, которая является графиком функции принадлежности.

В [12-14] рассмотрен подход к хранению нечетких данных в виде иерархической структуры. В частности, в [13] предлагается хранить нечеткие данные, в частности, лингвистические переменные, в виде XML-структуры. При этом каждому значению нечеткой переменной сопоставляются ее четкие значения, например, минимальное и максимальное значения для носителя нечеткого множества, определяющего терм лингвистической переменной. Для реализации запросов авторы [13] предлагают использовать стандартный язык запросов SQL, извлекая при этом термы лингвистической переменной целиком. В работе [14] предложено метод для извлечения нечетких данных из объектно-ориентированных баз данных и преобразования их в нечеткие XML документы для веб-приложений.

В статье [15] в состав нечеткой базы данных предложено включить несколько элементов: традиционную БД, нечеткую базу метаданных, сервер SQL (Oracle или PostgreSQL), функции трансляции нечетких запросов, функции представления результатов нечетких запросов, функции нечеткого сравнения, нечеткий SQL-клиент. В [15] рассматриваются два пути реализации нечеткой БД: использование «классических» моделей данных и добавление нечетких функций и механизмов их обработки данных в хранилище.

Рассмотрим метод выбора ФП, а также задания и хранения нечетких данных, исходя в первую очередь из формы их ФП.

Основные положения метода. Будем рассматривать функции принадлежности, имеющие треугольную и трапециевидную формы, для построения которых требуется минимальное количество данных. Эти ФП также могут быть модифицированы при изменении входной информации, что обеспечивает условие разбиения единицы [2], при этом обладают наглядной графической интерпретацией. Схожесть ФП треугольной формы и гауссовой, а также колоколообразной и трапециевидной позволит использовать полученные результаты на все виды ФП, приведенные на рис. 1. Примем, что все рассматриваемые функции принадлежности – нормированы, т.е. для них соблюдается условие $\mu_{\max} = 1$ [2].

Пусть имеются значения параметра X , полученные в различные моменты времени (интервалы между соседними значениями не обязательно равные):

$$X = \{x_1(t_1), x_2(t_2) \dots x_n(t_n)\}. \quad (1)$$

Так как все элементы множества X — это реальные значения, для которых уровень возможности всегда равен единице, в качестве границ ядра нечеткого множества примем максимальное X_{\max} и минимальное X_{\min} значения из множества X . В качестве границ носи-

теля НМ примем теоретические значения минимума X_{\min}^T и максимума X_{\max}^T для анализируемого параметра, которые определим исходя из особенностей предметной области: например, для уровня потребления электроэнергии на предприятии минимальным значением будет 0 (все оборудование выключено), а максимальным – мощность, потребляемая при включении всего оборудования, при полной загрузке.

В качестве критерия выбора формы ФП примем отношение ядра к носителю нечеткого множества:

$$R = \frac{(X_{\max} - X_{\min})}{(X_{\max}^T - X_{\min}^T)}. \quad (2)$$

Так как ядро меньше или равно носителю нечеткого множества, всегда будет выполняться условие $R \leq 1$. Примем, что при $R < 0.05$ ФП может быть представлена треугольной формой, при $0.05 \leq R \leq 0.2$ – функцией Гаусса, а при $R > 0.2$ – трапецевидной формой. Данные условия могут быть пересмотрены исследователем исходя из необходимости учета всех значений, входящих в множество измеренных данных X , а также исходя из требования упрощения процедуры автоматизированной обработки: треугольные и гауссовы ФП обрабатывать проще, чем трапецевидальные или колоколообразные.

Таким образом, при $R > 0.2$, задав значения X_{\max} , X_{\min} , X_{\min}^T и X_{\max}^T , получаем трапецевидную функцию принадлежности. Для задания треугольной или гауссовой ФП требуются три опорные точки: границы носителя нечеткого числа (X_{\min}^T и X_{\max}^T) и ядро. Ядро НМ для треугольной или гауссовой ФП зададим средним квадратическим $X_{\text{нб.эа}}$ элементов множества X . Выбор средней квадратической оценки из всех возможных вариантов средних [18] обусловлен тем, что ее значение наиболее приближено к середине интервала [X_{\min} ; X_{\max}], особенно при неравномерном разбросе значений внутри множества X .

После выбора формы функции принадлежности нечеткого числа можно переходить к этапу сохранения ее параметров в базе данных.

Параметры функций принадлежности предлагается хранить в реляционной БД в виде кортежа:

$$\langle PK, T, SData \rangle, \quad (3)$$

где PK – первичный ключ отношения (таблицы базы данных); T – тип функции принадлежности нечеткого числа (например, 1 – треугольная, 2 – трапецевидальная и т.п.); $SData$ – строка, содержащая параметры нечеткого числа.

Строка $SData$ должна быть переменной длины. Для нечеткого числа с трапецевидальной функцией принадлежности (наибольшее число параметров для хранения) эта строка выглядит следующим образом: " $\alpha_{\max}, x_1, x_2, x_3, x_4$ ", где α_{\max} – максимальное значение функции принадлежности, если же речь идет о нормированных ФП, то параметр α_{\max} в базе данных можно не хранить; значения x_1, x_2, x_3, x_4 – значения аргумента функции принадлежности, соответствующие точкам перелома.

Для хранения функций с произвольной формой кортеж (3) необходимо расширить:

$$\langle PK, T, NAppr, SData \rangle, \quad (4)$$

где $NAppr$ – степень аппроксимирующего полинома.

Для нечеткого числа с произвольной функцией принадлежности строка $SData$ будет выглядеть так: " $k_0, k_1, k_2, k_3, \dots$ ", где k_0, k_1, k_2, k_3 – коэффициенты функции аппроксимации. Для большинства практических случаев представления функции принадлежности степенным полиномом может хватить и указанных 4-х коэффициентов, что соответствует полиному 3-го порядка.

Заключение. Проведенный анализ существующих методов и моделей для хранения нечетких данных в базах данных информационных систем показал, что на сегодняшний

день нет СУБД, которые позволяли бы оперировать с нечеткими числами. Существующие модели баз данных нечетких данных опираются на уже существующие реляционные модели баз данных.

Проведенные исследования известных методов построения функций принадлежности нечетких множеств показали, что большинство из них использует экспертные оценки, что вносит субъективность в результаты и усложняет процесс автоматизации обработки данных. Для получения функций принадлежности предложен метод, в котором для определения параметров ядра нечеткого множества предлагается использовать реальные данные, полученные от исследуемого объекта или процесса, а для определения носителя – теоретический диапазон возможных значений представляемого нечетким множеством параметра исследуемого объекта или процесса. Для определения вида функции принадлежности нечеткого множества предложено использовать критерий отношение ядра к носителю. Граничные значения для критерия, предложенные в статье, могут быть пересмотрены исследователем, если возникнет необходимость учета значений, входящих в множество измеренных реальных данных, или исходя из требований упрощения процедуры автоматизированной обработки.

Предложенный подход позволит интегрировать нечеткие данные в существующие информационные системы с минимальным изменением структуры базы данных и минимальным увеличением ее объема. Предложен вариант хранения в базе данных типовых функций принадлежности, а при необходимости использования функции произвольной формы хранить в базе данных значения коэффициентов аппроксимирующего полинома.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Модели управления проектами в нестабильной экономической среде : монография / [С. И. Левицкий, Ю. Г. Лысенко, А. В. Филиппов и др.] ; под ред. чл.-кор. НАН Украины, д-ра экон. наук, проф. Ю. Г. Лысенко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Донецк : Юго-Восток, 2009. — 354 с.
2. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат ; пер. с англ. — 3-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 801 с.
3. Поспелов Д.А. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта // Д.А. Поспелов. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. — 312 с.
4. Башвеев Ю.А., Сальников И.И. Функция принадлежности в системе поддержки принятия решения по выбору микроконтроллера // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. №3(31). С. 89-100
5. Chameau J.L., Santamarina J.C., Membership function I: Comparing methods of Measurement // International Journal of Approximate Reasoning. 1987, Vol. 1, pp.287-301
6. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Пер. с англ. / Под ред. Р.Р. Ягера. — М.: Радио и связь, 1986. — 408 с.
7. Орлов А.И. Экспертные оценки. // Журнал «Заводская лаборатория». 1996. Т.62. № 1. С.54-60.
8. Глоба Л.С. Подход к хранению баз нечетких знаний / Л.С. Глоба, М.Ю. Терновой, Е.С. Штогринина // OSTIS-2012. — С. 99-102.
9. Jose Galindo. Fuzzy databases: modeling, design and implementation / Jose Galindo, Angelica Urrutia, Mario Piattini // IGP in USA, — 2006.
10. Азов М.С. Прикладные интеллектуальные системы, основанные на мягких вычислениях / под ред. Н. Г. Ярушкиной. — Ульяновск: УлГТУ, 2004 — 139 с.
11. Касаткина С.В. Методы хранения и обработки нечетких данных в среде реляционных систем / Н.В. Касаткина, С.С. Тянянский, В.А. Филатов // ААЭКС. — «Информационно-управляющие комплексы и системы». — 2009. — № 2(24).
12. Сергиенко М.А. Методы проектирования нечеткой базы знаний / М.А. Сергиенко // Вестник ВГУ, Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2008. — № 2. — С. 67-71.

13. Naresh Kumar. Storing, Querying and Validating Fuzzy XML Data in Relational Database / Naresh Kumar, Satyanand Reddy, V.E.S. Murthy // (IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 5 (4) , 2014, pp. 5233-5240.
14. Jian Liu. Formal transformation from fuzzy object-oriented databases to fuzzy XML / Jian Liu, Z. M. Ma // Applied Intelligence Volume 39, Issue 3, 2013, pp 630–641
15. Amit Garg. Querying Capability Enhancement in Database Using Fuzzy Logic / Amit Garg, Dr. Rahul Rishi // Global Journal of Computer Science and Technology Volume 12 Issue 6 Version 1.0 March 2012.
16. Бизянов Е.Е. Имплементация нечетких моделей в информационные системы экономических объектов / Е.Е. Бизянов // Экономика и менеджмент инновационных технологий. – 2015. – № 4. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ekonomika.snauka.ru/2015/04/8351>
17. Берестов В.Л. Статистика: Учебное пособие. / В.Л. Берестов, Е.П. Жиленкова, С.Г. Кузнецов — Брянск: Брян.гос.инж.-техн.акад., 2014. – 244 с.

REFERENCES

1. Levitskiy S.I., Lysenko Yu. G., Filippov A. V. Modeli, upravleniya proektami v nestabil'noy ekonomicheskoy srede : monografiya [Project management models in an unstable economic environment: monograph]. Donetsk : Yugo-Vostok, 2009. — 354 p.
2. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie [Fuzzy modeling and control]. M. : BINOM. Laboratoriya znaniy, 2015. — 801 p.
3. Pospelov D.A. Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models]. M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986. – 312 p.
4. Bashveev Yu.A., Sal'nikov I.I. Funktsiya prinadlezhnosti v sisteme podderzhki prinyatiya resheniya po vyboru mikrokontrollera [The membership functions of decision support system software choosing a microcontroller]. XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus [XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus]. 2016. №3 (31). pp. 89-100
5. Chameau J.L., Santamarina J.C., Membership function I: Comparing methods of Measurement // International Journal of Approximate Reasoning. — 1987. — Vol. 1. — pp.287-301
6. Yager R.R. Nechetkie mnozhestva i teoriya vozmozhnostey. Poslednie dostizheniya [Fuzzy set and possibility theory. Recent Development]. M.: Radio i svyaz', 1986. – 408 p.
7. Orlov A.I. Ekspertnye otsenki [Theory of expert estimates in our country]. Zhurnal «Zavodskaya laboratoriya» [Industrial Laboratory]. 1996. — T.62. № 1. — pp.54-60.
8. Globa L.S. , Ternovoj M.Yu., Shtogrina E.S. Podhod k hraneniyu baz nechetkih znaniy [An approach to storing fuzzy knowledge bases]. OSTIS-2012. – pp. 99-102.
9. Jose Galindo. Fuzzy databases: modeling, design and implementation / Jose Galindo, Angelica Urrutia, Mario Piattini // IGP in USA, – 2006.
10. Azov M.S., Yarushkinoy N. G. Prikladnye intellektualnye sistemy, osnovannye na myagkih vychisleniyah [Applied Intelligent Systems Based on Soft Computing]. Ulyanovsk: UIG-TU, 2004 – 139 p.
11. Kasatkina S.V., Tanyanskij S.S., Filatov V.A. Metody hraneniya i obrabotki nechetkih dannyh v srede relyacion-nyh sistem [Methods for storing and processing fuzzy data in a relational system environment]. AAЕKS. – «Informacionno- upravlyayushie komplekсы i sistemy» [Information and control complexes and systems]. – 2009. – № 2(24).
12. Sergienko M.A. Metody proektirovaniya nechetkoj bazy znaniy [Fuzzy Knowledge Base Design Techniques]. Vestnik VGU, Seriya: Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii [System Analysis and Information Technologies]. – 2008. – № 2. – pp. 67-71.
13. Naresh Kumar. Storing, Querying and Validating Fuzzy XML Data in Relational Database / Naresh Kumar, Satyanand Reddy, V.E.S. Murthy // (IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 5 (4) , 2014, pp. 5233-5240.

14. Jian Liu. Formal transformation from fuzzy object-oriented databases to fuzzy XML / Jian Liu, Z. M. Ma // Applied Intelligence Volume 39, Issue 3, 2013, pp 630–641
15. Amit Garg. Querying Capability Enhancement in Database Using Fuzzy Logic / Amit Garg, Dr. Rahul Rishi // Global Journal of Computer Science and Technology Volume 12 Issue 6 Version 1.0 March 2012.
16. Bizyanov E.E. Implementaciya nechetkih modelej v informacionnye sistemy ekonomicheskikh obektov [Implementation of fuzzy models in information systems of economic objects]. Ekonomika i menedzhment innovacionnyh tehnologij [Economics and management of innovative technologies]. 2015. – № 4. – [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://ekonomika.snauka.ru/2015/04/8351>
17. Berestov V.L. Zhilenkova E.P., Kuznetsov S.G. Statistika: Uchebnoe posobie [Statistics: Study guide]. Bryansk: Bryan.gos.inzh.-tekhn.akad., 2014. – 244 p.

Информация об авторах

Бизянов Евгений Евгеньевич — д. э. н., к. т. н., доцент, профессор кафедры «Специализированные компьютерные системы», Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, e-mail: bpeeecs@gmail.com.

Гутник Артур Альбертович — ассистент кафедры «Специализированные компьютерные системы», Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, e-mail: hutnik.aa@gmail.com.

Authors

Yevgeny Yevgenievich Bizyanov — Dr. Sci. (Economic), Cand.Sci. (Technical), Prof., Department of Specialized Computer Systems, DonSTI, Alchevsk, e-mail: bpeeecs@gmail.com.

Arthur Albertovich Hutnik — assistant, Department of Specialized Computer Systems, DonSTI, Alchevsk, e-mail: hutnik.aa@gmail.com.

Для цитирования

Бизянов Е.Е., Гутник А.А. Метод получения и хранения параметров функций принадлежности нечетких множеств // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2020. – №3(8). – С. 22-28 – DOI: 10.26731/2658-3704.2020.3(8).22-28 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/38-2020>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 01.11.2020)

For citations

Bazilevskiy M.P. The fundamental block of algorithms for constructing well-interpreted qualitative regression models // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2020. No. 3(8). P. 22-28. DOI: 10.26731/2658-3704.2020.3(8).22-28 [Accessed 01/11/20]